

## Homogeneously distributed reflecting object classification by radar echo - recognising Mueller matrix of surface reflecting sequential microwave transmissions from sources with different polarisations

**Patent number:** DE4200299  
**Publication date:** 1993-07-15  
**Inventor:** BUECHLER JOSEF DR ING (DE); LUY JOHANN-FRIEDRICH DR ING (DE); WANIELIK GERD DR ING (DE)  
**Applicant:** DAIMLER BENZ AG (DE)  
**Classification:**  
- **International:** **G01S7/02; G01S7/41; G01S13/93; G01S7/02;**  
G01S13/00; (IPC1-7): G01S7/03; G01S13/88  
- **European:** G01S7/02P; G01S7/41A  
**Application number:** DE19924200299 19920109  
**Priority number(s):** DE19924200299 19920109

**Report a data error here**

### Abstract of DE4200299

The object (8) is identified from its reflection (7) of microwaves (6) radiated by variously polarised antennas (5) fed from modular oscillators (3) triggered in sequence by a controller (1). The reflection is received by correspondingly polarised antenna and detectors (4) connected to an evaluation unit (2). The characteristic Mueller matrix of the object is worked out from scalar measurements of four reflected Stokes vectors corresp. to an equal number of predetermined different transmitted Stokes vectors using, e.g. one circular and three linear polarisations. USE/ADVANTAGE -In recognition of, e.g. differently constituted or weathered road surfaces, types of vegetation, or land/water boundaries, simple and reliable decisions can be made with monolithically integrable components.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 42 00 299 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**G 01 S 13/88**  
G 01 S 7/03

②① Aktenzeichen: P 42 00 299.0  
②② Anmeldetag: 9. 1. 92  
④③ Offenlegungstag: 15. 7. 93

DE 42 00 299 A 1

⑦① Anmelder:  
Daimler-Benz Aktiengesellschaft, 7000 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:  
Büchler, Josef, Dr.-Ing., 8068 Pfaffenhofen, DE; Luy,  
Johann-Friedrich, Dr.-Ing.; Wanielik, Gerd, Dr.-Ing.,  
7900 Ulm, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:  
EAVES, Jerry L., REEDY, Edward K.: PRINCIPLES OF  
MODERN RADAR, VAN NOSTRAND REINHOLD,  
New York 1970, S.626-645;  
SKOLNIK, Merrill I.: Radar Handbook,  
McGRAW-HILL BOOK COMPANY, New York 1970,  
S.33-4 bis 33-5 US-Z: GIULI, Dino: Polarization  
Diversity in RadarsIn: Proceedings of the IEEE,  
Vol.74, No.2, Feb.1986, S.245-269;

⑤④ Verfahren und Anordnung zur Objektklassifizierung mit Radarwellen

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren und Vorrichtungen zur  
Objektklassifizierung mit polarimetrischem mm-Wellen-Ra-  
dar. Es wird die Müller-Matrix  $M$  bestimmt, die die Transfor-  
mation eines auf ein Objekt einfallenden Signals, beschrie-  
ben durch den Stokes-Vektor  $\underline{S}^i$ , und dem reflektierten  
Signal, beschrieben durch den Stokes-Vektor  $\underline{S}^r$  angibt.  
Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung werden getrennte  
mm-Wellen-Module eingesetzt, wobei weder eine Frequenz-  
noch eine Phasenkohärenz der Module erforderlich ist. Die  
Bauteile der Meßanordnung sind monolithisch gut integrier-  
bar.

DE 42 00 299 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und Anordnungen nach den Patentansprüchen 1, 5 und 6.

Die Erfindung findet Verwendung für die Klassifizierung räumlich homogen verteilter reflektierender Objekte, z. B. zur Straßenzustandserkennung, Vegetationsarten-erkennung sowie der Wasser-Land-Unterscheidung. Bezogen auf z. B. die Straßenzustandserkennung werden verschiedene Straßenbelagsarten oder auch witterungsbedingte Belagsunterschiede klassifiziert. Außerdem kann der Verlauf und die Beschaffenheit des Straßenrandes bestimmt werden.

Aufgabe der Erfindung ist es deshalb ein Verfahren und dazu geeignete Vorrichtungen zur Objektklassifizierung mit Radarwellen anzugeben, wobei die meßtechnische Erfassung der reflektierten Signale technisch einfach und zuverlässig realisierbar ist.

Diese Aufgabe wird gelöst durch die im kennzeichnenden Teil der Patentansprüche 1, 5 und 6 beanspruchten Merkmale. Vorteilhafte Ausgestaltungen und/oder Weiterbildungen sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben unter Bezugnahme auf schematische Zeichnungen.

Zur Auswertung der Radarsignale können vorteilhaft teilweise getrennte mm-Wellen-Moduln eingesetzt werden, wobei die Moduln keine Frequenz- und Phasenkohärenz besitzen müssen und eine Phasenauswertung nicht durchgeführt werden muß. Die für die erfindungsgemäße Vorrichtung benötigten Bauelemente sind monolithisch gut integrierbar.

Eine Klassifizierungsmöglichkeit eines Objektes ist durch die Kenntnis der Müller-Matrix des Objektes gegeben, die in ihrer Struktur und Art für ein Objekt charakteristisch ist. Bei der Müller-Matrix  $M$  handelt es sich um eine reelle  $4 \times 4$ -Matrix, die die Transformation eines auf ein Objekt einfallenden Signales, beschrieben durch den Stokes-Vektor  $\underline{G}^i$ , und dem reflektierten Signal, beschrieben durch den Stokes-Vektor  $\underline{G}^r$ , angibt:

$$\underline{G}^r = \underline{M} \cdot \underline{G}^i.$$

Zum einen kann der Stokes-Vektor aus vektoriellen Messungen zum anderen aber auch aus skalaren Messungen ermittelt werden. Die Objektklassifizierung gemäß der Erfindung wird mit der Ermittlung der Müller-Matrix durch die skalare meßtechnische Erfassung des Stokes-Vektors mit Hilfe von mm-Wellen-Reflexionsmessungen erreicht.

Um den Stokes-Vektor aus skalaren Messungen bestimmen zu können sind sechs Messungen mit unterschiedlicher Polarisation der verwendeten mm-Wellen nötig. Der Stokes-Vektor ergibt sich dann zu:

$$\underline{G} = \begin{bmatrix} a_H^2 + a_V^2 \\ a_H^2 - a_V^2 \\ a_{45}^2 - a_{135}^2 \\ a_R^2 - a_L^2 \end{bmatrix}$$

wobei  $a_H$ ,  $a_V$ ,  $a_{45}$ ,  $a_{135}$ ,  $a_R$  und  $a_L$  die Meßamplituden des reflektierten Signals bei horizontal linearer, vertikal linearer, in  $45^\circ$  linearer, in  $135^\circ$  linearer, rechtsdrehend zirkularer und linksdrehend zirkularer Polarisation be-

deuten.

Die Müller-Matrix kann durch die sequentielle Messung von vier reflektierten Stokes-Vektoren  $\underline{G}_n^r$  bei vorgegebenen unterschiedlichen gesendeten Stokes-Vektoren  $\underline{G}_n^i$  ermittelt werden. Beispielsweise kann eine horizontal linear, eine vertikal linear, eine in  $45^\circ$  linear und eine linksdrehend zirkular polarisierte Welle für die Anregung gewählt werden.

Beispiele für zwei mögliche Meßsysteme sind in Fig. 1 und Fig. 2 gezeigt. Bei dem in Fig. 1 dargestellten System werden entsprechend den obigen Ausführungen minimal vier, allgemein  $n$  Sendermoduln bestehend aus dem Oszillator 3 und der Antenne 5 mit jeweils eigener Polarisation durch eine Sendersteuerung 1 sequentiell angesteuert. Die vom angesteuerten Sendermodul ausgesendete Welle 6 wird an einem Objekt wie z. B. einem Straßenbelag 8 teilweise in Richtung des Meßsystems reflektiert. Die reflektierte Welle 7 wird mit entsprechend den obigen Ausführungen minimal sechs, allgemein  $m$ , Empfangsmoduln bestehend aus der Antenne 5 und dem Detektor 4 gleichzeitig empfangen. Die Empfangssignale werden einer Auswerteeinheit 2 zugeführt, mit der die Müller-Matrix bestimmt wird.

Bei dem in Fig. 2 gezeigten Ausführungsbeispiel werden die verschiedenen Polarisationen durch Umschalten der Polarisation mit einem Polarisationsschalter 9 erzeugt, wobei während des Sendens einer polarisierten Welle empfangsseitig sequentiell die Leistungsanteile der reflektierten Welle mit den entsprechenden Polarisationen detektiert werden.

Die durch die Verwendung von mehr Polarisationen als minimal nötig gewonnene Redundanz kann sowohl zur Kompensation von z. B. durch nichtideale mm-Wellen-Komponenten auftretenden Fehlern als auch zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses genutzt werden. Die Fehlerkompensation und die Anhebung des Signal-Rausch-Verhältnisses kann z. B. durch mehrdimensionale lineare Regression erfolgen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Klassifizierung räumlich homogen verteilter, reflektierender Objekte, dadurch gekennzeichnet,

— daß die Objektklassifizierung über die Bestimmung der Müller-Matrix  $M$  erfolgt, die die Transformation des gesendeten in das reflektierte Radarsignal angibt, wobei das gesendete und das reflektierte Signal durch die entsprechenden Stokes-Vektoren  $\underline{G}^i$ ,  $\underline{G}^r$  angegeben wird, und

— daß die Stokes-Vektoren mittels mm-Wellen-Reflexionsmessungen skalar gemessen werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Müller-Matrix  $M$  durch sequentielle Messungen von zumindest vier reflektierten Stokes-Vektoren  $\underline{G}^r$  ermittelt wird, wobei die reflektierten Stokes-Vektoren  $\underline{G}^r$  durch bekannte, unterschiedlich polarisiert gesendete Signale erzeugt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der reflektierte Stokes-Vektor  $\underline{G}^r$  über mindestens sechs Messungen mit unterschiedlich polarisierten mm-Wellen-Antennen bestimmt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die sechs Meßamplituden des reflek-

tierten Signals bei horizontal linearer, vertikal linearer, 45° linearer, 135° linearer rechtsdrehender und linksdrehender zirkularer Polarisierung bestimmt werden.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mit den redundanten Polarisationsmessungen, die nicht zur Bestimmung der Müller-Matrix M benötigt werden, Fehler im Meßsystem kompensiert werden und/oder das Signal-Rausch-Verhältnis verbessert wird. 10

6. Anordnung für ein Verfahren nach den vorhergehenden Ansprüchen, dadurch gekennzeichnet,

- daß mindestens vier Sendermoduln bestehend aus einem Oszillator (3) und einer Antenne (5) mit jeweils eigener Polarisierung derart angeordnet sind, daß sie durch eine Sendersteuerung (1) sequentiell ansteuerbar sind, 15
- daß mindestens sechs Empfangsmoduln bestehend aus einer Antenne (5) und einem Detektor (4) derart angeordnet sind, daß sie die an einem Objekt reflektierte Welle (7) gleichzeitig empfangen, und 20
- daß eine Auswerteeinheit (2) die Empfangssignale verarbeitet (Fig. 1). 25

7. Anordnung für ein Verfahren nach einer der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet,

- daß der Sendermodul einen Oszillator (3), eine Antenne (5) und einen Polarisierungsschalter (9) enthält, wobei im Polarisierungsschalter (9) mindestens vier verschiedene Polarisierungen erzeugbar sind, 30
- daß ein Empfangsmodul bestehend aus einem Detektor (4), einer Antenne (5) und einem Polarisierungsschalter (9) sequentiell die Leistungsanteile der reflektierten Welle (7) mit mindestens sechs Polarisierungen detektiert werden, und 35
- daß eine Auswerteeinheit (2) die Empfangssignale verarbeitet (Fig. 2). 40

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

45

50

55

60

65

- Leerseite -

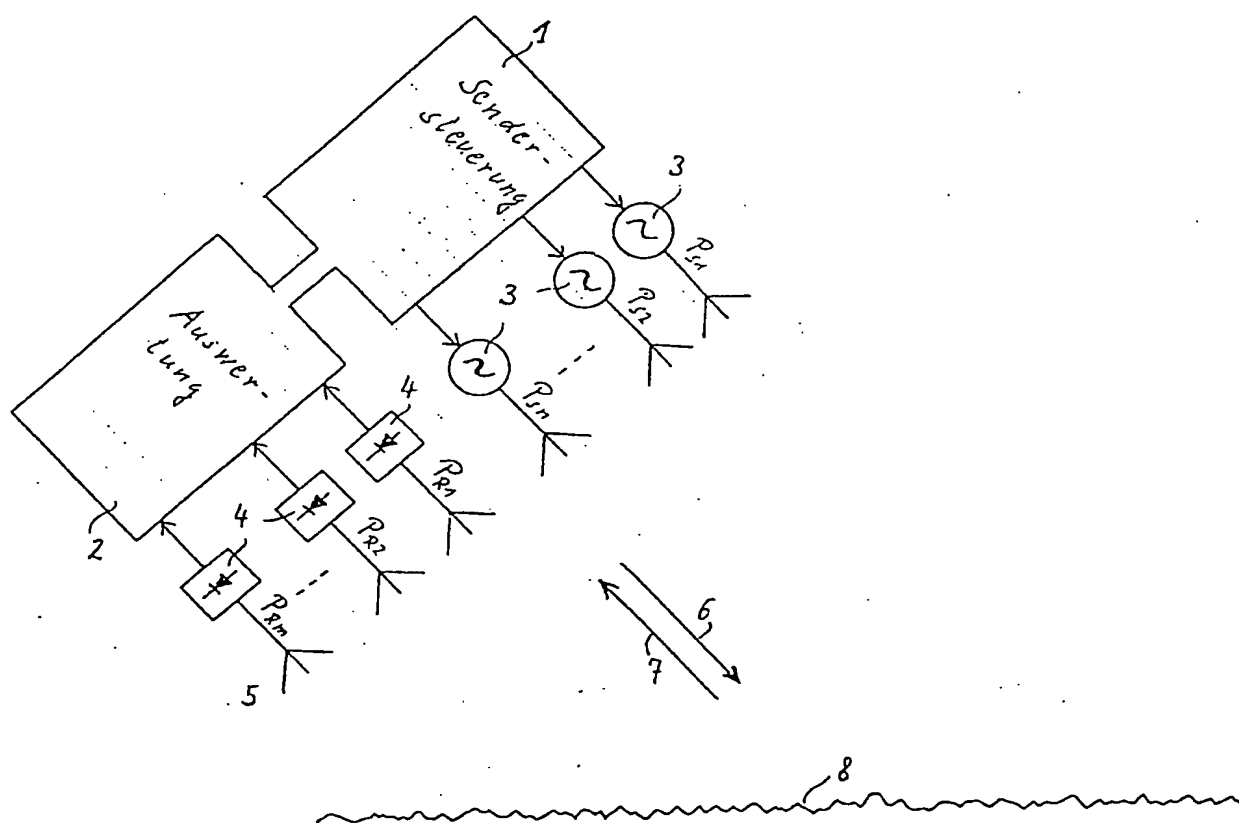


FIG. 1

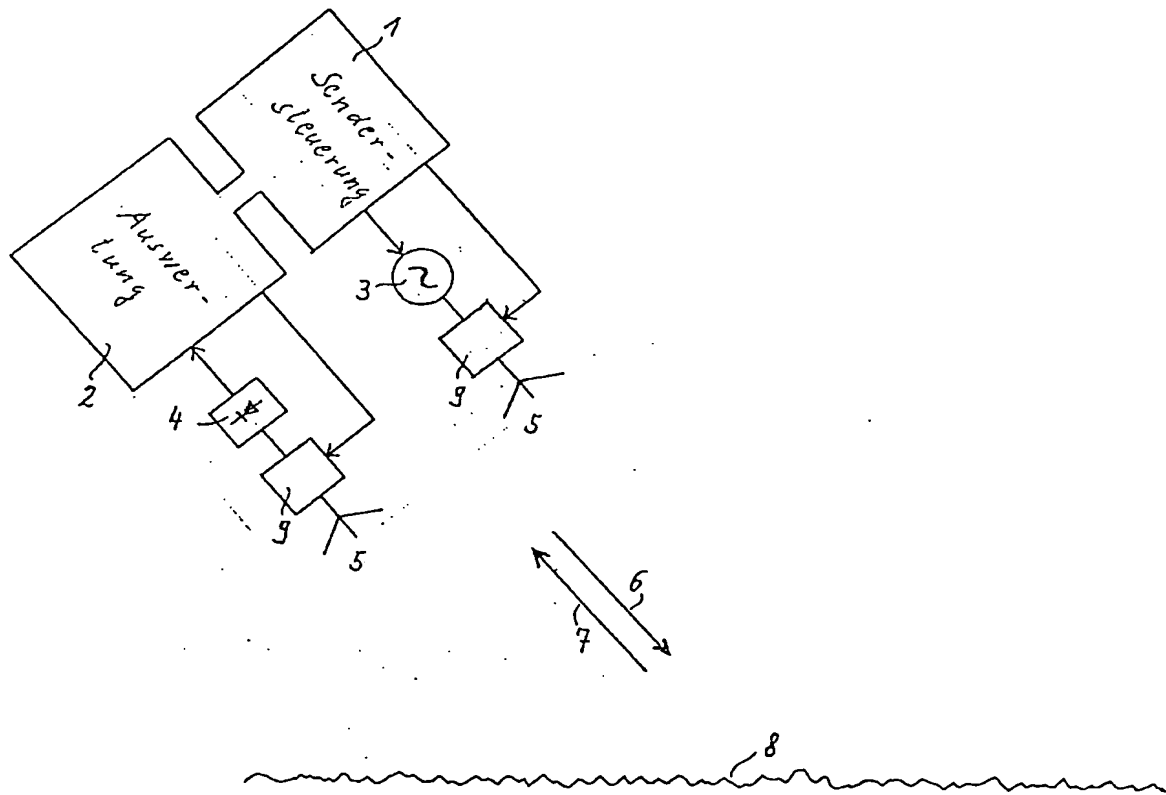


FIG. 2